

# ЭФФЕКТИВНОЕ ЧИСЛО РАЗРЯДОВ ОСЦИЛЛОГРАФА

**ДЖОЕЛ ВУДВОРД (JOEL WOODWARD), БРИГ АСЕЙ (BRIG ASAY), инженеры, Agilent Technologies**

*Для выполнения ответственных измерений важно выбрать осциллограф с наиболее качественной измерительной архитектурой. Однако чтобы оценить возможности осциллографа, недостаточно знать его основные параметры — полосу частот, частоту дискретизации и глубину памяти. Опытные пользователи сравнивают осциллографы по частоте обновления сигналов, джиттеру и уровню собственных шумов. Для приборов ГГц-диапазона еще одним критерием качества измерений является характеристика его АЦП — эффективное число разрядов (ЭЧР). Чтобы правильно выбрать осциллограф, нужно знать, что это за параметр, и как он влияет на точность измерения.*

Для повышения точности измерений проектировщики используют самые передовые технологии аналоговой и цифровой обработки. Входной тракт осциллографа обрабатывает сигнал, нормируя его так, чтобы АЦП мог правильно его оцифровать. Входной тракт состоит из аттенюатора, предусилителя и коммутаторов.

Проектировщики осциллографов прикладывают большие усилия, работая с входными трактами с плоской АЧХ, низким шумом и регулируемым ограничением полосы пропускания. В силу уникальности требований к АЦП каждый производитель осциллографов разрабатывает их самостоятельно. Разработка новых входных трактов и АЦП требует крупных инвестиций. Полученные функциональные блоки могут использоваться в различных сериях осциллографов нескольких поколений. Применение таких блоков позволяет разработчикам максимально повышать точность проводимых измерений.

Пользователь может оценить комбинацию входного тракта и АЦП, но он не способен оценить каждый функциональный блок в отдельности. Существует множество способов оценки качества входного тракта осциллографа. Производители обычно оценивают входной тракт по шумовым характеристикам, а АЦП — по ЭЧР. Хотя часто более выгодно рассматривать характеристики осциллографа в целом, а не сравнивать ЭЧР и уровень собственных шумов.

Превосходным критерием качества измерений является уровень собственных шумов осциллографа при различных значениях чувствительности и смещения. Его величина показывает, насколько малошумящими сделали разработчики входной тракт и АЦП прибора. Собственные шумы осцил-

лографа добавляют паразитный джиттер, ухудшая измерительные характеристики. Уровень собственных шумов напрямую связан с полосой частот — чем она шире, тем больше шумов создает осциллограф. Чтобы уменьшить шумы, следует ограничить его полосу пропускания. Для непосредственного измерения уровня собственных шумов осциллографа следует отключить все его входы и измерить среднеквадратичное значение напряжения на его выходах при различных настройках чувствительности и смещения.

Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) разработал метод определения качества АЦП по его эффективной разрядности. Современные осциллографы используют АЦП конвейерной или параллельной архитектуры. В конвейерных АЦП для увеличения частоты дискретизации используется два и более поддиапазона преобразования. Например, в осциллографе серии 90000A для достижения частоты дискретизации 20 Гвыб/с используется 80 поддиапазонов по 256 Мвыб/с. Интересно, что вопреки общей точке зрения, некоторые осциллографы обеспечивают более точные измерения, когда используют не самую высокую частоту дискретизации. Это вызвано перекрестными искажениями, возникающими при высоких частотах дискретизации в добавление к высокочастотным шумам. Параллельные АЦП имеют группу компараторов, оцифровывающих входной сигнал параллельно, каждый — начиная с заданного уровня напряжения. Выходы компараторов подключены к дешифратору, генерирующему цифровой код напряжения. Все технологии аналого-цифрового преобразования имеют свои недостатки. Так, параллельные АЦП склонны к линейным искажениям, а конвейерные АЦП обычно имеют более высокие пере-

крестные искажения. IEEE разработал стандарт ENOB (ЭЧР) для определения качества АЦП.

Производители осциллографов самостоятельно оценивают ЭЧР: и отдельно для АЦП, и для всего осциллографа. Эффективная разрядность системы будет ниже ЭЧР отдельно взятого АЦП. Но поскольку АЦП является частью системы и не может использоваться отдельно, то полезными являются только результаты измерения ЭЧР осциллографа.

В 8-разрядном АЦП обычно используются не все разряды. Например, для задействования всех 8 разрядов нужно установить такую чувствительность, чтобы развертка сигнала заняла весь экран по вертикали. Это затрудняет обзор сигнала и повышает риск входа в насыщение аналоговой части преобразователя, что чревато нежелательными последствиями. Для сигналов с уровнем 90% от полного диапазона по вертикали разрешение 8-разрядного преобразователя уменьшается до 7,2 разрядов ( $90\% \times 8$ ). Шумы входного такта, гармонические и перекрестные искажения еще больше понижают эффективность АЦП осциллографа.

## ЧТО ТАКОЕ ЭЧР И КАК ЕГО ИЗМЕРЯТЬ?

Для измерения ЭЧР на прибор подается гармонический сигнал фиксированной амплитуды и качающейся частоты. Результаты измерения сигнала прибором регистрируются и оцениваются. Во временной области ЭЧР рассчитывается как разность измеренных и расчетных значений напряжений для всех моментов измерений. Полученная разность является шумом. Основным источником шума является входной тракт, а причинами — нелинейность ФЧХ и нестабильность амплитуды при качании частоты. Шум также может быть вызван перекрестными искажениями в АЦП. При анализе того же сиг-

# ОСЦИЛЛОГРАФ? ОСЦИЛЛОГРАФ!!!

от \$ 1278\*

**Новая страница  
в истории осциллографов  
эконом-класса**

|   | Agilent 2000X<br>(MSO и DSO)   | Осциллограф<br>другого<br>производителя<br>(DSO) | Agilent 3000X<br>(MSO и DSO) | Осциллограф<br>другого<br>производителя<br>(MSO и DSO) |
|---|--|--|------------------------------|--|
| Полоса пропускания, МГц   | 70, 100, 200   | 50, 70, 100, 200                                 | 100, 200, 350, 500           | 100, 200   |
| Макс. частота дискретизации   | 2 Гвыб/с   | 2 Гвыб/с   | 4 Гвыб/с                     | 1 Гвыб/с   |
| Макс. глубина памяти  | 100 квыб   | 2.5 квыб   | 4 Мвыб                       | 1 Мвыб   |
| Макс. скорость обновления<br>сигналов на экране<br>(осциллограмм/с) | 50,000   | 200  | 1,000,000                    | 5,000  |
| Возможность полной<br>модернизации                                  | Да   | Нет  | Да                           | Нет  |
| Встроенный генератор<br>функций                                     | Да   | Нет  | Да                           | Нет  |
| Примечания:   | Закажите брошюру с техническим описанием новых осциллографов в Российском представительстве Agilent Technologies.<br>Технические характеристики осциллографов другого производителя смотрите в публикациях 3GW-25645-0 и 3GW-22048-1 |  |                              |  |

\* Цены указаны в долларах США, не включают налоги и таможенные сборы и могут меняться без уведомления

Тел.: +7 (495) 797 3963;  
+7 (495) 797 3900;  
e-mail: tmo\_russia@agilent.com

Прикоснитесь к будущему  
уже сейчас  
[www.agilent.com/find/morescope](http://www.agilent.com/find/morescope)



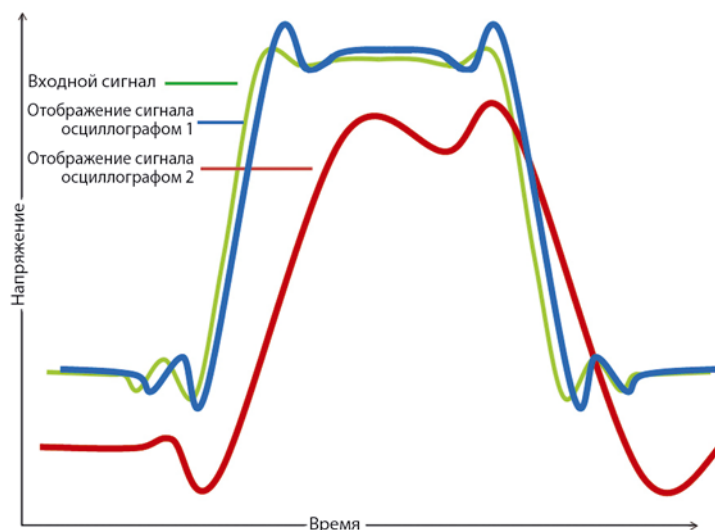


Рис. 1. Эффективная разрядность является одним из основных показателей качества осциллографов, но она не учитывает влияния неравномерности АЧХ и ФЧХ. Осциллографы 1 и 2 имеют одинаковое ЭЧР, но смещение и фазовые искажения осциллографа 2 ухудшают его способность правильно отображать входной сигнал.

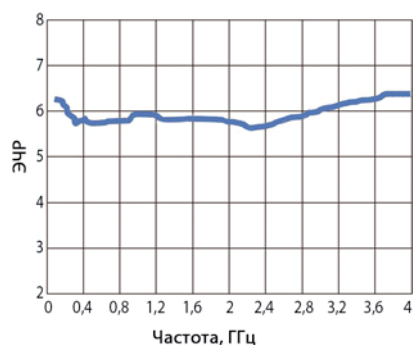


Рис. 2. Частотная зависимость ЭЧР осциллографа Agilent серии Infiniium 9000. Значение ЭЧР зависит от частоты и уникально для каждой модели осциллографа. Характеристика приведена не для самого 8-разрядного АЦП, а для всей измерительной системы осциллографа.

нала в частотной области ЭЧР рассчитывается путем вычитания мощности первой гармоники из мощности всего широкополосного спектра сигнала. Оба способа обеспечивают одинаковый результат.

Если вы собираетесь измерять ЭЧР осциллографа или оценивать результаты этих измерений, то прислушайтесь к рекомендациям производителя. Результаты измерений ЭЧР зависят от спектральной чистоты подаваемого сигнала. Во-первых, источник сигнала и соответствующие фильтры должны обеспечивать, чтобы эффективная разрядность источника была выше, чем у осциллографа. Во-вторых, значения ЭЧР будут зависеть от отношения амплитуды сигнала источника и установленного на осциллографе усиления по вертикали. Значения ЭЧР будут различаться для осциллограмм, занимающих 75% или 90% экрана. Стандарт JDEC требует, чтобы при измерении ЭЧР размах осциллограммы

по вертикали составлял 90% всего экрана. Сравнивать и измерять ЭЧР осциллографов следует с учетом амплитуды и частоты испытательных сигналов.

#### КАКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТРАЖАЕТ ЭЧР?

ЭЧР является неплохим показателем качества АЦП осциллографа. Если осциллограф обладает хорошим ЭЧР, значит, он имеет минимальные ошибки синхронизации, искажения АЧХ (обычно вызванные перекрестными искажениями) и низкий уровень собственных шумов. Если вам требуется измерять в основном синусоидальные сигналы, то ЭЧР будет эффективным критерием выбора осциллографа.

#### КАКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЧР НЕ ОТРАЖАЕТ?

Хотя ЭЧР является одним из показателей качества АЦП и входного тракта, в ряде случаев его значение не столь важно. ЭЧР не принимается в расчет при оценке смещения, неравномерности ФЧХ и АЧХ. На рисунке 1 показан входной сигнал и его осциллограммы, полученные на двух осциллографах. Хотя оба прибора имеют одинаковую эффективную разрядность, осциллограмма одного из них выглядит значительно правдоподобнее.

ЭЧР не учитывает погрешность смещения, которую может вносить осциллограф. Два прибора с одинаковым ЭЧР могут отображать одинаковые осциллограммы, но сдвинутые относительно друг друга из-за смещения. Лучшие результаты измерения достигаются при надлежащей регулировке смещения и усиления по вертикали с учетом внутренних шумов осциллографа.

Выбирать осциллографы было бы очень легко, если бы все они имели плоские АЧХ и ФЧХ и идентичные

характеристики фильтров. Но это не так, и к тому же, производители не публикуют графики АЧХ и ФЧХ в технических описаниях. ЭЧР не учитывает равномерность АЧХ и ФЧХ, хотя они различаются для различных моделей осциллографов. Например, два осциллографа с полосой пропускания до 6 ГГц по-разному отображают гармонический сигнал частотой 2,1 ГГц. Один прибор может иметь более пологую АЧХ и медленный алгоритм ФАПЧ, в то время как другой может иметь АЧХ с пиком на частоте выше 6 ГГц перед спадом, но более совершенный алгоритм ФАПЧ. Осциллограф с более высоким ЭЧР не обязательно будет наиболее точно воспроизводить входной сигнал.

#### КАК УВЕЛИЧИТЬ ЭЧР ОСЦИЛЛОГРАФА?

Очевидный ответ — купить осциллограф с более высоким ЭЧР. По вашей просьбе продавец осциллографа сообщит вам все значения ЭЧР для каждой модели. Большинство осциллографов высшего класса имеют переключаемые пользователями фильтры, ограничивающие полосу пропускания. Включение фильтра сокращает полосу частот осциллографа, вследствие чего не пропускаются высокочастотные составляющие, включая перекрестные наводки и шумы, что приводит к увеличению ЭЧР. И наконец, для уменьшения широкополосного шума осциллографы могут использовать режим усреднения или режим высокого разрешения для периодических сигналов. Применение этих режимов — очень эффективный способ повышения точности измерений.

#### НАСКОЛЬКО ВАЖНО ЗНАЧЕНИЕ ЭЧР ДЛЯ ПРАВИЛЬНОГО ВЫБОРА ОСЦИЛЛОГРАФА?

Будет или нет ЭЧР влиять на точность измерений, в большой степени зависит от того, что вы собираетесь измерять. Определенное представление об этом даст график частотной зависимости ЭЧР (см. рис. 2). Если вы измеряете сигналы высокоскоростных последовательных шин, то из-за специфичности их спектра даже небольшая эффективная разрядность не повлияет на точность измерений. В этом случае более важным показателем может быть уровень собственных шумов осциллографа. Если вы в основном измеряете гармонические сигналы (например, в военных приложениях), то здесь ЭЧР может стать лучшим критерием выбора. Попросите производителя показать диаграмму частотной зависимости ЭЧР для модели осциллографа, которую вы собираетесь купить. Это поможет узнать, насколько изменение эффективной разрядности по всей полосе частот прибора скажется на точности ваших измерений.

**1-3 НОЯБРЯ 2011  
МОСКВА, ЭКСПОЦЕНТР**

**РОССИЙСКАЯ  
НЕДЕЛЯ  
ЭЛЕКТРОНИКИ**



**ChipEXPO-2011**

**ПРОМЫШЛЕННАЯ  
И ВСТРАИВАЕМАЯ  
ЭЛЕКТРОНИКА 2011**

**ПРОИЗВОДСТВО  
ЭЛЕКТРОНИКИ**

**MOBILE &  
WIRELESS**

**ПОТЕНЦИАЛ-2011**

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА**

**КОМПОНЕНТЫ  
И ТЕХНОЛОГИИ**

**СОВРЕМЕННАЯ  
ЭЛЕКТРОНИКА**

**ЭЛЕКТРОНИКА**  
НАУКА  
ТОРГОВЛЯ  
БИЗНЕС

**электроника**  
инфо медиа группа

**РАДИО**  
www.radio.ru  
АУДИО - ВИДЕО - РАДИО - ЭЛЕКТРОНИКА - КОМПОНЕНТЫ

**ПРИГЛАСИТЕЛЬНЫЕ БИЛЕТЫ:**

**[www.russianelectronicsweek.ru](http://www.russianelectronicsweek.ru)**